

*М. И. СТАРШОВ, Н. Н. СИТНИКОВ, Н. Т. ИСХАКОВА*

## **СКВАЖИННАЯ ГИДРОДОБЫЧА БИТУМОНОСНЫХ ПЕСЧАНИКОВ. ОБЗОР**

Созданное в 1984 г. опытно-экспериментальное нефтегазодобывающее управление «Татнефтьбитум» ведет добычу природных битумов (далее — битумы) и одновременно проводит промысловые испытания на Мордово-Кармальском месторождении (Татария) технологий влажного внутрипластового горения, низкотемпературного окисления и циклической закачки пара, а также планирует работы по площадному паротепловому воздействию. Возникающие при этом проблемы технического, технологического и экологического характера обуславливают в конечном итоге высокую себестоимость добываемых битумов при низком их качестве. Вопросы использования рудничных методов добычи битумоносных песчаников (разработка карьеров, шахт, штолен) находятся сейчас в стадии проработки, и окончательное мнение относительно этой проблемы пока не выработано.

В горной науке имеется отрасль геотехнология, которая стала базой для создания новых и совершенствования существующих физико-химических методов добычи полезных ископаемых. Геотехнология исследует физические и химические свойства руд и вмещающих пород с целью использовать эти свойства при добыче, создает и совершенствует новые методы разработки месторождений, изучает происходящие в недрах геотехнологические процессы, а также способы и средства управления ими [1]. Геотехнологические методы разработки включают: скважинную гидродобычу (СГД) полезных ископаемых, подземную выплавку серы, подземное выщелачивание и растворение, подземную газификацию каменного и бурого угля, извлечение и использование тепла земли и добычу гидроминерального сырья. К настоящему времени уже накоплен опыт разработки месторождений перечисленными методами [2]. Широкое внедрение геотехнологии в народное хозяйство позволит, по мнению авторов упомянутой работы, полностью исключить труд людей в подземных условиях за счет автоматизации всех процессов добычи, задействует в производство и те месторождения полезных ископаемых, разработка которых традиционными методами неэффективна.

Основные месторождения битумов в уфимских отложениях Татарии, подготовленные для промышленного освоения, сосредоточены на глубинах 50—200 м, и планируется их разработка термическими методами. По мнению авторов [3], пар малоэффективен в случае неглубоко залегающих коллекторов (от 30 до 180 м), поскольку давление покрывающих пород там слишком мало для того, чтобы препятствовать миграции пара на поверхность. Поэтому для разработки месторождений битумов Татарии необходимо рассмотреть вариант приме-

нения нетрадиционного для нефтяной промышленности метода СГД, при котором полезные ископаемые добываются через специальные скважины, которые бурятся по плотной сетке. СГД — это наиболее разумная альтернатива рудничным методам добычи битумов, так как в этом случае исключаются вскрышные работы, а капитальные затраты в два—три раза ниже, чем при открытых работах [2]. Скважинная гидродобыча практически исключает нарушение гидрогеологического режима подземных вод, что сейчас очень важно для юго-востока Татарии. Кроме того, этот метод экологически чист, так как он предполагает оборотную систему водоснабжения и закладку отработанной породы в выработанные ранее камеры [4].

СГД — метод подземной добычи твердых полезных ископаемых, основанный на том, что руда приводится в подвижное состояние на месте залегания гидромеханическим воздействием и выдается на поверхность в виде гидросмеси [5]. Этот метод перспективен для разработки глубокозалегающих месторождений песков, гравия, погребенных россыпных месторождений (янтарных, касситеритовых, ильменитовых, золотоносных), мармитовых и марганцевых руд, бурых углей. Метод СГД был предложен в 1935 г. П. М. Тупицыным для гидравлической разработки рыхлых пород. В дальнейшем как в СССР, так и за рубежом появилось много предложений по способам СГД и оборудованию для нее [5]. Начиная с 1964 г. в Государственном научно-исследовательском институте горно-химического сырья (ГИГХС) ведутся исследовательские работы по разработке и внедрению технологии СГД на Кингисеппском месторождении фосфоритов. Расширением сферы применения метода с одновременным усовершенствованием технологии занимаются сотрудники кафедры геотехнологии Московского геологоразведочного института им. С. Орджоникидзе.

Технологический процесс СГД заключается в следующем. На продуктивный пласт бурят скважину, осадные трубы спускают до кровли пласта, а в интервале залегания продуктивного пласта оставляют открытый забой. В скважину опускают гидродобычное оборудование, состоящее из гидромонитора и устройства для подъема суспензии. По напорной колонне на насадки гидромонитора подают воду. Гидродинамическое разрушение пород осуществляется струей воды, подаваемой под высоким напором. При этом гидромонитор вращается относительно оси скважины, одновременно перемещаясь в обрабатываемом интервале. Образующаяся суспензия поступает к выдачному устройству и поднимается на поверхность, а в подземной формации образуется полость-камера. Гидросмесь выдается на поверхность при помощи гидроэлеватора, эрлифта, погружного землесоса или за счет противодавления, которое создается нагнетанием в залежь воды или газа. Опыт ведения работ и исследования, проведенные в ГИГХСе, показывают, что выбор оборудования зависит от физико-механических и гидрогеологических условий месторождения. Геометрические размеры обрабатываемой камеры, ее форма, а также последовательность проводимых работ по очистке зависят от используемого оборудования и совокупности приемов технологии. Физико-механические свойства пород, слагающих продуктивный пласт, определяют возможность переводить их в подвижное состояние, то есть определяющим фактором является размываемость пород.

Метод СГД не имеет большой производственной истории, однако опытно-промышленная проверка технологии проводилась в различных условиях [2]. Так, в опытно-промышленных условиях разрабатывались месторождения фосфоритов, фосфоритных руд, россыпных руд, глубинного песка, битуминозного угля, урансодержащего песчаника. Метод СГД опробован на глубинах от 20 до 320 м. Радиус выра-

ботки камер составлял в среднем 5—10 м, добыча — примерно 50 т/ч руды. Рабочее давление воды в зависимости от прочности руды изменялось от 0,7 до 10 МПа.

Кроме того, заложенный в основу метода СГД процесс гидромеханического разрушения посредством струи воды высокого напора широко применяется в различных областях промышленности и строительства. Еще одно направление использования струйной технологии — создание нефтегазохранилищ путем растворения залежей калийной соли через буровые скважины. При этом учитывается весь комплекс горно-геологических параметров залежи и физико-механические свойства пород кровли и подошвы. Технология размыва подземных емкостей позволяет создавать различные формы полостей с изменяющимися в широком диапазоне размерами. Водоструйным методом сооружают подземные емкости на глубине до 300—500 м и диаметром 15—20 м [6].

Битумоносные песчаники (БП) в промышленном масштабе методом СГД не добываются, но разработки в этом направлении ведутся. Для слабосцементированных БП в [7] предложены оборудование и способ извлечения, основанный на разрушении породы струей нагретой щелочной жидкости на водной основе, подаваемой под большим давлением. Одновременно с нагретой рабочей жидкостью в пласт вводят растворитель, а затем неконденсирующий газ. Скважинное оборудование обеспечивает круговое разрушение продуктивной части пласта и вынос суспензии на поверхность. На поверхности фазы суспензии разделяют, рабочую жидкость снова подогревают и подают на гидромонитор. Для несцементированных БП запатентован метод извлечения битумов путем нагнетания пара или горячей воды (температура выше 65 °С) с аминами, например диэтиламинпропиламином 2—10 % —ной концентрации [8]. Смесь закачивают по напорной колонне оборудования СГД, которая заканчивается горизонтально расположенными соплами. Напорная колонна вращается относительно оси скважины и имеет возможность перемещаться вертикально. Разработку начинают с кровли пласта. Давление достигает 9,0 МПа. Для повышения эффективности метода в рабочую смесь добавляют бензол, толуол, ксилолы, алифатические углеводороды с числом атомов углерода от 4 до 8 или их смеси, а также газы, например азот, углекислый газ, метан, природный газ или их смеси. Лабораторные испытания с применением смеси пар—амины показали, что битумоотдача модели составила 90,7 %.

Для добычи высоковязкой нефти, залегающей на глубинах 15—30 м и прочно удерживаемой в порах песчаника, предложен термогидравлический метод [9]. В нефтеносный пласт нагнетают смесь воздуха, водяного пара и разбавляющего нефтепродукта, нагретую до 65—100 °С. Образующаяся суспензия подается на поверхность и расслаивается в отстойнике на три слоя. Это: 1) песок, 2) вода, которая образуется после конденсации пара, и 3) раствор нефти в разбавителе, который идет на переработку.

Для разработки прочных углеводородсодержащих пород подходит комбинированный гидравлическо-механический способ [10]. На продуктивный пласт одновременно воздействуют рабочая жидкость, которая подается под высоким давлением из вращающихся форсунок, и вращающиеся механические фрезы. Рабочая жидкость представляет собой смесь воды с газообразным углеводородом, например природным газом. Ее температура поддерживается в пределах 38—93 °С. Битумы отделяются рабочей жидкостью, а большая часть породы остается в подземном забое. В пробуренную скважину диаметром 0,6 м опускают добывающий механизм, снабженный фрезами и форсунками.

Диаметр выработанной камеры может превышать 23 м. Первоначально рабочий забой создается в подошве залежи, после чего добывающий механизм движется вверх. Описанным способом, по мнению авторов, можно отрабатывать залежи глубиной до 640 м. Способ пригоден и для добычи нефти из отработанных залежей, что позволит извлечь до 95 % остаточной нефти.

Для разработки глубокозалегающих углеводородсодержащих пластов запатентован метод, при котором для образования суспензии используется перегретая вода [11]. В скважину закачивают водный раствор, который обеспечивает прогрев продуктивного пласта. Часть породы с битумом смешивается с водной фазой, и образующаяся суспензия через скважину подается на поверхность в установку по переработке, а в пласте образуется каверна (полость). При этом с помощью неконденсируемого газа поддерживают давление, достаточное для того, чтобы предотвратить обрушение вышележащих пород. Отработанный песок закачивают обратно в каверну, после чего давление может быть снято. Таким образом, закладкой в пласт отработанного песка решается экологическая проблема. Процесс размыва продуктивного пласта контролируется по температуре поднятого на поверхность песчаника. При первичной обработке суспензии к ней добавляют легкий углеводород, который далее по технологии регенерируется. Суспензию сепарируют на водную и углеводородную фазы. Чтобы вода имела температуру ниже температуры кипения и не было значительных потерь тепла из-за испарения, отделять битум от воды и песка нужно при достаточно высоком давлении.

Известен метод добычи битумов или тяжелых нефтей с глубины более 90 м [12]. Его отличительной особенностью является то, что суспензия разделяется в подземной камере, и на поверхность поднимается жидкая фаза, которая практически не содержит минеральных включений. Для реализации этого метода бурят скважину, а ствол на ее забое расширяют в радиальном направлении гидравлической струей. При этом дробится пласт, непосредственно окружающий ствол скважины, в результате чего создается полость. В нее опускают систему гибких металлических трубок малого диаметра, которые расходятся радиально. По ним в подземную полость подают отмывающий реагент, например горячий водный раствор спирта. В результате контакта реагента с породой углеводороды отмываются и поступают в верхнюю часть полости, откуда откачиваются на поверхность и поступают на переработку.

Аналогичным образом предусмотрено отделять битумы от слабоцементированного песка в пластовых условиях струей рабочей жидкости [13]. Технологией предусматривается осуществление этого процесса в затопленном забое. По мере отработки камеры и дробления породы суспензия разделяется, и битум подается на поверхность. Предусмотрено также одновременное использование нескольких гидронасадок с применением гибких труб, которые обеспечивают перемещение насадок в требуемое место. В качестве рабочей жидкости можно использовать воду или раствор хлористого кальция (для утяжеления) с температурой до 60 °С. Рекомендуется также поверхностно-активные вещества (ПАВ).

Отличительной особенностью технологии СГД фирмы "California Sands Development" является возможность использовать ее как на месторождениях, где разработка открытым способом невозможна из-за значительной глубины залегания продуктивного пласта, так и на месторождениях, где эта глубина недостаточна для осуществления паротеплового воздействия [3]. Технология предусматривает быструю закачку воды в продуктивный пласт для создания состоящей из биту-

ма, песка и воды суспензии, которую затем по трубам поднимают на поверхность. Она была опробована в 1979 г. на месторождении Чеврон (США, штат Калифорния), когда примерно за 70 ч было добыто 1 тыс. т битумоносной породы. При помощи гидромонитора в пласте, залегающем на глубине 45 м, была создана каверна радиусом 9 м, из которой битумы были выбраны полностью. После их отделения от породы последнюю вернули в камеру. В среднем на поверхность поднимали 150 т/ч суспензии и из каждой тонны добытого БП извлекали 0,06 т битумов.

Для интенсификации метода СГД предложено поднимать суспензию на поверхность струйным насосом, который обеспечивает интенсивное дробление отбиваемой породы [14], использовать гидромониторы, работающие в импульсном режиме [15], разделять суспензию на поверхности методами биотехнологии [16], а также предварительно моделировать процесс добычи БП в лабораторных условиях [17].

На 4-й Международной конференции по тяжелым нефтям и битумоносным песчаникам рассматривались результаты работ фирмы "Can Oxy" (Canadian Occidental Petroleum Ltd) по СГД битумоносных пород — процесс "Cell Process", разработанный в 1978—1982 гг. [18]. Процесс предусматривает обработку БП в каверне с поддержанием давления воздухом или газом. Эта технология на промыслах не опробована. Альтернативой процессу "Cell Process" является разработка компании "OSLO", начатая в 1983 г. Эта компания, которая объединяет шесть фирм [18], в последние годы разработала технологию СГД БП для своих участков на Атабаске.

Технология "OSLO" заключается в следующем. Скважину диаметром 762 мм бурят до подошвы битумоносного пласта. Разработку БП начинают с основания продуктивной зоны, вращая скважинный гидромонитор и непрерывно откачивая суспензию на поверхность. Оборудование периодически поднимают на 30 см для обработки вышележащего слоя. Таким образом вырабатывается цилиндрическая камера диаметром 30 м и высотой 30—45 м.

Расчетная добыча битумов определяется числом одновременно обрабатываемых камер. Первая очередь разработки должна включать камеры, отстоящие одна от другой на расстоянии от одного до двух диаметров каверн. Затем отработанный песчаник закладывают в выработанные камеры. После того, как песок в засыпанных камерах достаточно уплотнится, можно разрабатывать близлежащие камеры. Весь цикл от установки обсадных труб до закладки отработанной породы в камеру занимает около трех месяцев. Во время разработки и закладки песка в камеру в ней следует поддерживать избыточное давление, чтобы исключить обрушение покрывающих пород.

Экономические расчеты дали компании "OSLO" основание приступить к осуществлению 4-летней программы (1988—1991 гг.), оцененной в 11 млн. долларов и ориентированной на исследования и разработку техники для промышленного освоения метода СГД. Компании "AOSTRA" (Alberta Oil Sands Technology and Research Authority) и "CANMET" (Canada Mining and Energy Technology) согласились принять участие в ежегодном финансировании этой программы.

В СССР при строительстве и эксплуатации нефтешахт в Кюми АССР опробованы гидромониторная отбойка и дробление породы при проходке штреков с последующим отделением нефти [19]. Если имеются осложнения при сепарации нефти в подземных условиях, суспензию экономичнее транспортировать на поверхность по трубопроводу [19].

В Уральском научно-исследовательском и проектном институте угольной промышленности («Уралгипрошахт») был выполнен проект комплексного гидротранспорта нефтеносного песчаника для Ярегского

месторождения Коми АССР [21, 22]. Эрлифтная подъемная установка состоит из всасывающего устройства, смесителя, подъемной трубы и воздухоотделителя. Глубина зумпфной части эрлифтной установки 90 м, диаметры обсадных труб скважины подбираются в соответствии с расчетными диаметрами труб эрлифта, рабочее давление турбокомпрессоров 0,8 МПа. Производительность эрлифта по суспензии 600 м<sup>3</sup>/ч (по песчануку 57 т/ч), высота подъема суспензии эрлифтом 190 м, удельный расход сжатого воздуха на подъем 1 м<sup>3</sup> суспензии 25,5 м<sup>3</sup>. В работе [21] дана методика расчетов эрлифтного подъема, а также приведены кривые для определения удельного расхода сжатого воздуха и коэффициента производительности по величине относительного погружения.

В 1972 г. сотрудники Татарского Государственного научно-исследовательского и проектного института нефтяной промышленности (ТатНИПИнефти) на Юлтимирском участке Сугушлинской залежи природных битумов подготовили скважину для проведения эксперимента по СГД. В обсадную колонну опустили двухрядный лифт из насосно-компрессорных труб (НКТ). В нижней части НКТ большого диаметра установили перфоратор с четырьмя горизонтальными насадками диаметром 5 мм, а на устье скважины — двойной сальник, который позволял закачивать водопесчаную суспензию под высоким давлением и перемещать перфоратор по вертикали на расстояние до 8 м при герметичном затрубном пространстве между обсадной трубой и внешней НКТ. Давление воды составляло 18—20 МПа, воздуха — 2,2—3,0 МПа, но интенсивного выноса БП из продуктивного пласта не наблюдалось.

Изменение интервала обработки по толщине пласта на 0,2 м привело к увеличению выноса БП всего в течение нескольких минут. Содержание песка в нагнетаемой воде было при этом 4—5 % по массе. Увеличение содержания кварцевого песка в закачиваемой воде не привело к увеличению выхода БП. В этом случае увеличились потери нагнетаемой воды. Увеличение давления воздуха до 3,2 МПа тоже не дало положительного результата. Температура возвратной воды была 25—30 °С. В результате эксперимента было извлечено незначительное количество БП. Вряд ли можно назвать этот эксперимент успешным.

В 1977 г. была предпринята вторая попытка осуществить СГД битумоносных пород, на этот раз на Мордово-Кармальском месторождении (Татария). В отличие от предыдущего эксперимента на Юлтимирском участке в этом случае на торце перфорационной головки была установлена пятая насадка, направленная вниз, чтобы обеспечить поддержание отбитой породы во взвешенном состоянии и улучшить всасывание суспензии. Пласт толщиной 6,6 м намечалось разрабатывать при давлении 30 МПа сверху вниз по всей толщине при расходе энергетической воды 108 м<sup>3</sup>/ч, воду планировалось подавать агрегатами АН-700. Компрессор УКП-80 должен был обеспечить необходимый расход воздуха, но на забое давление не должно было превышать горное (1,5—1,7 МПа). Других сведений о подготовке и проведении этого эксперимента нет.

В работе [23] приведены результаты лабораторных работ по определению эффективности разрушения БП Татарии гидроструей и отделению битумов. Были исследованы образцы керна длиной 160 мм и диаметром 63 мм из скважины 101 Мордово-Кармальского месторождения битумов (Татария). Ее авторы отмечают, что образцы начинают разрушаться при давлении воды 2,0—2,5 МПа и при этом наблюдается выборочное по площади керна вымывание мелкозернистых структур. Давление воды 3,0—3,5 МПа обеспечивает мелкочешуйчатый скол по плоскостям, перпендикулярным к продольной оси струи. Давление

Варианты сочетания процессов СГД и технологического разделения органической и минеральной фаз БП в зависимости от способа разделения  
Possibilities of combining borehole hydromining and separation of the organic and mineral phases of bituminous sands depending on separation technique

Место разделения	Рабочие агенты			Форма поднимаемой на поверхность продукции	Последовательность проведения основных наземных операций с продукцией скважин
	при отбойке	при транспортировании	при отделении углеводородов		
<b>Подземное разделение</b>					
Подземная камера	Горячая вода, горячие растворы щелочей и ПАВ, растворители, эмульсии, пенные и кислотные системы	Воздух, растворитель	Растворители, мицеллярные растворы	Экстрактный раствор	Сбор экстрактного раствора. Очистка от механических примесей и воды. Регенерация растворителя
<b>Подземное наземное разделение</b>					
Частично подземная камера, система камер-скважина, наземная установка доизвлечения битумов	То же	Воздух, растворы щелочей и ПАВ, эмульсии	Горячие растворы щелочей и ПАВ, эмульсии, растворители, водяной пар, термоллиз БП	Эмульсия битумов	Сбор эмульсии, удаление механических примесей и воды. Сбор излишков рабочих агентов из суспензии и доотделение битума на наземных установках. Утилизация минеральной фазы
<b>Наземное разделение</b>					
Наземная установка	Холодная вода	Воздух, холодная вода	То же	Суспензия	Сбор излишков воды, ее очистка. Отделение битума на наземных установках. Утилизация минеральной фазы

воды 4,0—4,5 МПа обеспечивает резание слабой интенсивности с незначительным крупночешуйчатым сколом по тем же плоскостям. Давление рабочей жидкости 6,5—7,0 МПа обеспечило интенсивное резание, крупный и мелкий сколы, а также крупнокусковое разрушение по плоскостям напластований. В эксперименте использовалась насадка, выполненная в виде полого усеченного конуса, по основанию которого равномерно распределены 16 отверстий диаметром 0,5 мм.

Результаты этих экспериментов в первом приближении дают возможность принять давление гидроструи в 6,5—7,0 МПа за давление разрушения для мордово-кармальских БП. Но мы считаем, что в эксперименте по разрушению керна гидроструей необходимо было направлять ее не перпендикулярно напластованию, но параллельно, то есть приблизить эксперимент к реальным условиям СГД битумоносных песчаников. При использовании в качестве рабочего агента 0,8 %-ного водного раствора ОФС-16 (оксигетилированная фенольная смола) с температурой 80 °С извлечение битумов из мордово-кармальских БП составило 80 % от их потенциального содержания, рассчитанного при моделировании метода СГД и отделения битумов [23].

Генетическая специфика углеводородсодержащего сырья позволяет при необходимости совмещать метод СГД и технологический процесс разделения органической и минеральной фаз. Исходя из анализа научно-технической литературы, патентных разработок, результатов опытно-промышленных работ и собственных исследований в области разделения органической и минеральной фаз при СГД битумоносных песчаников мы выделили следующие варианты сочетания процессов СГД углеводородного сырья и разделения органической и минеральной фаз: подземный, подземно-наземный и наземный (табл. 1).

Подземный вариант исключает подъем на поверхность значительных масс минеральной фазы. Органическая и минеральная фазы разделяются непосредственно в подземных условиях в искусственно созданной камере. Рабочие агенты улучшают дробление породы на месте ее залегания и последующее отделение углеводородов.

Подземно-наземный вариант предполагает, что органическая фаза частично отделяется от минеральной уже при дроблении породы и образовании подземной камеры и они совместно поднимаются на поверхность в виде битумоносной суспензии и эмульсии битумов. Освобожденную от битума породу закладывают обратно в подземную камеру или оставляют в хвостохранилищах для последующего использования в качестве дорожно-строительных материалов [24].

При СГД битумоносных песчаников и наземном способе разделения органической и минеральной фаз предусматривается отбивать породу подаваемой под высоким напором струей холодной воды. Холодная вода используется во избежание преждевременного отделения битума от породы. В холодном виде битумоносная суспензия поднимается на поверхность, где после сброса излишней воды поступает на разделение органической и минеральной фаз. В наземных комплексах для разделения применяют те же рабочие реагенты и способы, что и в случае подземно-наземного варианта. Очищенную от битума породу утилизируют.

Способы подземного и подземно-наземного разделения фаз, по нашему мнению, не найдут широкого применения при СГД битумоносных песчаников Татарии из-за специфики геологического строения месторождений битумов. В теле залежей имеются водоносные пропластки, много реликтовой воды. В основном все залежи битумов Татарии подстилаются водой и при проведении работ указанными способами будут иметь место неоправданные потери рабочих агентов из-за разбавления водой, а также за счет фильтрации в пористые сре-

ды, большие тепловые потери в окружающие породы, что в итоге приведет к значительным материальным и энергетическим затратам и загрязнению недр.

Наземный способ разделения органической и минеральной фаз на сегодняшний день можно считать наиболее экологически чистым и экономически оправданным, так как при этом способе порода отбивается и транспортируется на поверхность холодной водой, а возможные потери этой воды не могут существенно отразиться на экономических показателях. Битум отделяется на установках закрытого типа, вода оборотная. Отпадает необходимость в подготовке и нагреве больших объемов воды или рабочих растворов, оптимизируется расход отмывающих реагентов и растворителей, исключается возможность загрязнения недр, содержащих питьевые воды, химическими реагентами [25]. Недостатком подземно-наземного и наземного способов является необходимость поднимать на поверхность значительные объемы породы и утилизировать их. В этом направлении необходимо сосредоточить усилия на снижении себестоимости добычи БП.

Таблица 2

Table 2

Экономические показатели разработки фосфоритов карьерным методом и методом СГД (штат Флорида; США), млн. долл. [26]  
Economic indices of phosphorites production by quarrying and borehole hydromining (Florida, USA), million dollars

Способ добычи	Капитальные / эксплуатационные затраты			
	Толщина вскрыши, м			
	15	30	45	70
Производительность 1,5 т/год				
Открытый	59,1/8,4	75,1/10,6	126,0/20,9	—/—
СГД	45,5/19,3	46,0/20,6	46,5/21,9	47,3/23,9
3,0 т/год				
Открытый	113,7/14,6	128,0/16,8	210,1/31,3	—/—
СГД	93,3/39,4	92,3/41,9	93,3/44,5	94,9/48,6
4,5 т/год				
Открытый	168,5/18,7	179,0/23,1	278,7/41,1	—/—
СГД	137,1/59,5	138,6/63,3	140,1/67,1	142,4/73,2

Технико-экономические показатели метода СГД полезных ископаемых зависят от горно-геологических условий месторождения, физико-механических свойств рудного тела и вмещающих пород, а также от используемых технических и технологических решений. В работе [26] на примере добычи фосфоритной руды в штате Флорида (США) приведены расчетные величины капитальных и эксплуатационных затрат для различных глубин добычи и производительности рудников СГД и карьеров при толщине пласта 6 м (табл. 2). Анализ этих данных показывает, что капитальные затраты при карьерной добыче с глубиной разработки возрастают очень существенно, в то время как при расчете капитальных затрат на СГД увеличение глубины добычи с 15 до 70 м дает прирост всего 4 %. При небольших глубинах рудников метод СГД по затратам сравним с открытыми горными работами, а с ростом глубины его эффективность возрастает за счет меньших капитальных вложений и отсутствия вскрышных работ.

В СССР экономические расчеты СГД фосфоритной руды были выполнены во Всесоюзном научно-исследовательском институте галургии для СГД кингисеппских фосфоритов [5]. При испытании метода СГД песка в Тюменской области рассчитано, что экономический эффект только по одной добывающей установке составляет 3 млн. р. в год [4, 27]. Американские специалисты считают, что при добыче БП методом СГД с последующим отделением битума себестоимость его составит 102—133 долл./т [3].

В общем случае, для горнодобывающей промышленности характерен высокий уровень капитальных затрат, а метод СГД дает возможность снизить уровень капиталовложений по сравнению с традиционными способами добычи полезных ископаемых, что позволит вовлечь в разработку глубокозалегающие месторождения. К положительным сторонам метода СГД относятся его гибкость и оперативность, независимость работы гидродобычных агрегатов друг от друга, высокий коэффициент извлечения битумов из породы и конечный коэффициент битумоотдачи, отсутствие влияния процесса на физико-химические свойства битумов, экологическая чистота. Срок разработки месторождений оперативно регулируется путем ввода в работу дополнительных гидродобычных агрегатов, а изготовление скважинного гидродобычного оборудования не требует больших материальных затрат и не является трудоемким.

С целью повысить производительность гидродобычного оборудования необходимо проработать вопросы снижения прочности пласта БП в пределах добычной камеры путем закачки в него растворов ПАВ, щелочей, кислот, пара и т. п., найти рабочие агенты, позволяющие совместить процессы отбойки породы с отделением органической фазы на месте залегания без подъема породы на поверхность.

В случае применения системы разработки без закладки выработанного пространства, в условиях устойчивой кровли, выработанные емкости после соответствующей подготовки можно использовать в качестве подземных нефтегазохранилищ. Подземные емкости после бетонирования стенок можно использовать и для захоронения нетоксичных твердых отходов, пустых пород, шлаков и зол.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Арнс В. Ж. Геотехнология. — М., 1971.
2. Исмаилов Б. В. Состояние и перспективы скважинной гидродобычи полезных ископаемых : Обзорн. информ. Сер. Горнохимическая промышленность. — М., 1987.
3. Hydraulic mining device looks for heavy-oil niche // *Enh. Rec. Weck.* 1984, August 6. P. 3.
4. Арнс В. Ж. Скважинная добыча полезных ископаемых (геотехнология). — М., 1986.
5. Арнс В. Ж., Исмаилов Б. В., Шпак Д. Н. Скважинная гидродобыча твердых полезных ископаемых. — М., 1980.
6. Глоба В. М. Вопросы повышения надежности подземных нефтегазохранилищ : Обзорн. информ. Сер. Транспорт и хранение нефти и нефтепродуктов. — М., 1987.
7. Патент 3951457 США, МКИ Е 21 В 43/114. Гидравлический способ добычи битума из месторождений битуминозных песчаников / Давид Артур Редфорд (Канада). — № 422635; Заявлено 07.12.73; Оpubл. 20.04.76; НКИ 299-5.
8. Патент 4212353 США, МКИ Е 21 В 43/24. Разработка битуминозных песков с помощью гидравлической струи / Халл Вилбур Л. (США). — № 920933; Заявлено 30.06.78; Оpubл. 15.07.80; НКИ 166-303.
9. Патент 3057404 США, МКИ Е 21 В 43/24. Метод и система добычи нефти, прочно удерживаемой в пористых породах / Бергстром Эрик В. (США). — Заявлено 29.09.61; Оpubл. 9.10.62; НКИ 166-8.

10. Патент 1067819 Канада, МКИ Е 21 В 43/25. Способ и аппарат для добычи и извлечения битума / Грин Гарольд Ф. (Канада). — № 288780; Заявлено 14.10.77; Опубл. 11.12.79; НКИ 166-30.
11. Патент 4452491 США, МКИ Е 21 В 43/24. Добыча углеводородов из глубоких отложений битуминозных песков / Сеглин Леонард, Саллер Эрик (США). — № 305557; Заявлено 25.09.81; Опубл. 05.06.84; НКИ 299/5.
12. Патент 4406499 США, МКИ Е 21 В 43/24. Метод внутрислоевого разработки битумов путем отмычки / Вилдирим Ердал (США). — № 323344; Заявлено 20.11.81; Опубл. 27.09.83; НКИ 299/17.
13. Патент 4437706 США, МКИ Е 21 С 41/10. Гидравлическая подземная разработка битуминозных песков при помощи подводной струйной эрозии / Джонсон Герберт С. (США). — № 289333; Заявлено 03.08.81; Опубл. 20.03.84; НКИ 299-7.
14. Патент 4296970 США, МКИ Е 21 С 45/00. Гидравлический инструмент для добычи битумов и тяжелых нефтей / Е. Л. Ходгес (США). — № 121712; Заявлено 15.02.80; Опубл. 27.10.81; НКИ 299-67.
15. *Giplin R. R., Gotes E. M. Jet piercing of oil sands // Trans. ASME J. Energy Resour. Technol.* 1981. V. 103, N 4. P. 330—335.
16. Патент 2907389 США, МКИ Е 21 В 43/24. Извлечение битумосодержащих пород гидроструей и биотехнологическая обработка. — Опубл. 06.10.59; НКИ 166-8.
17. *Gates E. M., Toogood R. W., Simms B. W. A model for drilling by high pressure water jet // In situ.* 1986. V. 10, N 2. P. 175—202.
18. *Mcroberts E. C., Gavers O. S., Paul R. Geotechnical considerations in borehole hydraulic mining of oil sands OSLO new technology // 4th Intern. Conf. on heavy crude and tar sands, August 7—12, 1988, Edmonton, Canada. Edmonton, 1988. V. 5. P. 34.1—34.15.*
19. *Муравьев И. М. и др. Разработка и эксплуатация нефтяных и газовых месторождений.* — М., 1970.
20. *Закс С. Л. Основы горного дела и шахтной добычи нефти.* — М., 1954.
21. *Цывьян Б. М. Эрлифтный подъем нефтеносного песчаника // Проектирование и строительство угольных предприятий.* 1963. № 5(53). С. 59—64.
22. *Геронтьев В. И., Покровская В. Н. Особенности гидротранспорта нефтеносных песчаников // Гидравлическая добыча угля.* 1963. № 5. С. 18—22.
23. *Муслимов Р. Х., Тронов А. П., Фаткуллин А. Х. Обоснование технологических принципов разработки месторождений битумов Татарии // Нефтяное хозяйство.* 1977. № 12. С. 26—28.
24. *Старшов М. И. Комплексная переработка битумоносных пород Татарии // Тр. ТатНИПИнефти.* 1984. Вып. 54. С. 3—15.
25. *Алекперов Т. А. Охрана окружающей среды при разработке месторождений природных битумов различными способами // Нефтепромысловое дело и транспорт нефти.* 1985. № 7. С. 68—78.
26. *Hrubik J. A. Economic and environmental comparison: borehole mining versus conventional mining of phosphate // Mining Eng.* 1966. V. 38, N 1. P. 33—39.
27. *Аренс В. Ж. Геотехнология в системе горных наук // Вест. АН СССР.* 1987. № 4. С. 62—67.

*Представил Э. Г. Кальвеев*

Поступила в редакцию

5.07.89

*Бугульминский комплексный отдел  
«Природные битумы» Всесоюзного  
нефтегазового научно-исследовательского  
института им. акад. А. П. Крылова  
г. Бугульма*

**BOREHOLE HYDRAULIC RECOVERY OF BITUMINOUS SANDS. REVIEW**

The present paper reviews the patent and scientific literature on borehole hydraulic recovery of hydrocarbonic raw material, describes the production of bitumen, bituminous rock and viscous oils, as well as the hydraulic recovery of Tatar bituminous sands.

By borehole hydraulic recovery the rock is put into a movable state by the hydromechanical action, lifting the hydraulic mixture to the surface for subsequent processing.

The genetic specificity of carbonic raw material allows improvement of the technology of borehole hydraulic recovery and combining the destruction processes of rock with those of technological separation of organic and mineral phases if necessary. Versions of combining borehole hydraulic recovery with accompanying technological separation of organic and mineral phases have been described (Table 1). They include underground, underground-surface and surface types.

Borehole hydraulic recovery of hydrocarbonic raw material by the underground method of phases separation excludes lifting the mineral phase to the surface. The technological separation of organic and mineral phases is carried out in the underground conditions in artificially made chambers. The organic phase moves up to the surface through the borehole.

The underground-surface borehole hydraulic recovery method consists in partial separation of the organic phase from the mineral one by destruction of the rock and creation of an underground chamber, their simultaneous lifting to the surface in the form of bituminous suspension and emulsion for subsequent processing. By the borehole hydraulic recovery of bituminous rock using the surface method of phases separation, the rock is broken by high-pressure jets of cold water not to separate bitumen from the rock too soon. The cold bituminous suspension is lifted to the surface where separation of organic and mineral suspension phases in carried out in plants.

The borehole hydraulic recovery method is considered perspective to be applied to Tatar bituminous sands deposited at a depth of 200 m.

Hydraulic recovery with the surface method of phases separation is the most advantageous (Table 2).

*Presented by E. G. Kaljuvee*

Received 5.07.89

*All-Union Research Institute  
of Oil and Gas  
Department of Natural Bitumen  
Bugulma*